

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kedelai (*Glycine max*) adalah jenis kacang-kacangan yang memiliki banyak manfaat. Kedelai adalah sumber protein nabati yang baik untuk kesehatan. Kedelai banyak diminati karena harganya yang terjangkau, rasanya enak, dan kaya akan protein nabati. Produk olahan kedelai seperti tahu dan tempe sangat disukai oleh masyarakat Indonesia. Data (Badan Pusat Statistik, 2023) mencatat, volume impor kedelai mencapai 2,32 juta ton pada 2022. Angka ini turun 6,45% dari 2021 yang sebanyak 2,48 juta ton. Volume impor kedelai ini mencatatkan rekor terendah dalam enam tahun terakhir Untuk mengurangi impor, pemerintah terus meningkatkan produksi kedelai dengan benih berkualitas tinggi.

Permintaan kedelai terus meningkat setiap tahun karena populasi yang meningkat dan kesadaran akan pentingnya nutrisi yang sehat. Permintaan ini mungkin akan terus meningkat di masa mendatang Suatu sistem produksi pertanian membutuhkan benih yang berdaya hasil tinggi dan memiliki kualitas fisik, fisiologis, genetik, dan patologis yang tinggi (Jumakir *et al.*, 2014) . Benih berkualitas tinggi dapat mengurangi jumlah benih yang digunakan, memiliki daya kecambah yang tinggi, dan memiliki tingkat pertumbuhan yang tinggi, sehingga menghasilkan pertanaman yang seragam (Megasari *et al.*, 2022)

Meskipun kedelai Indonesia memiliki prospek pertumbuhan yang bagus dan nilai ekonomi yang tinggi, hal ini sulit dicapai karena beberapa alasan. Salah satunya adalah kualitas benih yang rendah karena kemunduran benih selama penyimpanan. Deteriorasi benih adalah proses alami yang tidak bisa dihindari saat benih disimpan, baik itu dalam kondisi penyimpanan terbuka maupun terkontrol (Noviana *et al.*, 2016). Jika benih yang sudah dipanen disimpan dalam kondisi yang tidak terkendali, hal itu dapat mengurangi vitalitas benih tersebut. Oleh karena itu, diperlukan teknik untuk membangkitkan kembali kekuatan benih. Salah satu upaya untuk meningkatkan mutu benih kedelai yang telah mengalami masa kemunduran (deteriorated) mutu tersebut dengan Teknik invigorasi (Sukowardojo, 2011).

Invigorasi benih adalah perbaikan fisiologis dan biokimiawi yang berkaitan dengan kecepatan, keserempakan berkecambah, perbaikan, dan kemampuan

berkecambah benih. Metode Invigorasi benih bisa dilakukan dengan menggunakan berbagai teknik, termasuk bioinvigorasi, matricconditioning, penerapan zat pengatur tumbuhan (ZPT), agen hayati, priming, osmoconditioning, serta pemberian kelembaban. Bio-invigorasi adalah teknologi yang memanfaatkan agen hayati selama proses penyerapan air pada benih untuk merangsang pertumbuhan benih (Megasari *et al.*, 2022). Salah satu cara penerapan bioinvigorasi yang dapat dilakukan ialah menggunakan biostimulan.

Biostimulan adalah campuran senyawa bioaktif dari tanaman atau mikroorganisme yang digunakan untuk meningkatkan penyerapan nutrisi tanaman, meningkatkan toleransi terhadap cekaman abiotik, dan meningkatkan kualitas tanaman (Saban *et al.*, 2018). Biostimulan tersedia dalam berbagai formulasi dengan berbagai bahan, tetapi umumnya diklasifikasikan menjadi tiga kelompok utama berdasarkan sumber dan kandungannya. Kelompok-kelompok ini mencakup substansi humik (HS), produk yang mengandung hormon (HCP), dan produk yang mengandung asam amino (AACP). HCP seperti ekstrak rumput laut mengandung jumlah substansi aktif untuk pertumbuhan tanaman seperti auksin, sitokinin, atau turunannya yang dapat diidentifikasi (Du Jardin, 2015).

Penggunaan rumput laut segar sebagai sumber bahan organik dan pupuk telah lama dikenal dalam pertanian, tetapi baru-baru ini efek biostimulan mulai tercatat. Hal ini mendorong penggunaan komersial ekstrak rumput laut dan senyawa murni, seperti polisakarida laminarin, alginat, dan karagenan, serta produk-produk hasil degradasinya. Bahan-bahan lain yang berperan dalam mempromosikan pertumbuhan tanaman meliputi mikro- dan makronutrien, sterol, senyawa yang mengandung nitrogen seperti betaina, dan hormon s (Craigie, 2011 dalam Du Jardin, 2015).

Penelitian sebelumnya telah melaporkan penggunaan ekstrak rumput laut sebagai perlakuan stimulasi untuk merevitalisasi benih, yang dapat meningkatkan proses perkecambahan lebih cepat dan konsisten pada pertumbuhan tanaman (Reis *et al.*, 2020). Efek stimulasi ringan dari ekstrak *Ulva* spp. Atau rumput laut telah diamati dalam kinerja perkecambahan dan pertumbuhan bibit pada benih berkualitas tinggi dari beberapa tanaman: okra (Castellanos-Barriga *et al.*, 2017

dalam Reis *et al.*, 2020) dan ceri tomat (Chanthini *et al.*, 2019 dalam Reis *et al.*, 2020).

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui respon viabilitas dan vigor benih kedelai varietas Detap-1 terhadap pemberian Biostimulan pada konsentrasi tertentu.
2. Mengetahui respon viabilitas dan vigor benih kedelai varietas Detap-1 terhadap lama perendaman Biostimulan.
3. Mengetahui apakah respon viabilitas dan vigor benih kedelai varietas Detap-1 terhadap pemberian Biostimulan pada konsentrasi tertentu dipengaruhi oleh lama perendaman.
4. Mendapatkan kombinasi konsentrasi dan lama perendaman yang paling tepat untuk meningkatkan viabilitas dan vigor benih varietas Detap-1.

1.3 Kerangka Pemikiran

Kedelai adalah komoditas yang memiliki banyak manfaat dan digunakan untuk berbagai tujuan dalam proses produksi, perdagangan, dan pemanfaatannya. Kedelai (*Glycine max* (L)) adalah salah satu jenis kacang-kacangan yang menjadi bahan dasar banyak makanan yang berasal dari Asia Timur (Rani *et al.*, 2013). Kedelai varietas Detap memiliki beberapa keunggulan yaitu ketahanan polong yang baik dan ukuran bijinya yang besar, mencapai 15 gram per 100 biji. Selain itu, kedelai ini memiliki masa tanam yang relatif singkat, hanya 78 hari, namun menghasilkan hasil panen yang tinggi sebesar 2,70 ton per hektar (Saleh dan Udju, 2023).

Benih kedelai rentan terhadap kerusakan saat disimpan karena memiliki kandungan lemak dan protein yang tinggi, sehingga memerlukan penanganan yang cermat sebelum disimpan. Kadar air benih dapat meningkat apabila suhu dan kelembaban ruang penyimpanan tinggi (Subantoro, 2014). Salah satu masalah yang dihadapi saat menyediakan benih bemutu adalah bagaimana menyimpannya. Selama penyimpanan, vigor dan viabilitas benih menurun, yang merupakan tanda kemunduran mutu benih atau disebut dengan deteriorasi benih (Mustika *et al.*, 2014). Deteriorasi faktor lingkungan terdiri dari kerusakan benih yang disebabkan oleh faktor-faktor lingkungan atau kerusakan yang disebabkan oleh perlakuan

penyimpanan benih yang tidak sesuai dengan persyaratan penyimpanan benih. Deteriorasi yang disebabkan oleh faktor genetik disebut sebagai proses kerusakan kronologis (Indriana, 2017). Untuk mengatasi masalah ini, benih dapat diberi perlakuan invigorasi.

Invigorasi benih adalah peningkatan fisiologis dan biokimia yang berkaitan dengan kecepatan dan keseragaman perkecambahan, serta peningkatan kemampuan benih untuk berkecambah. Metode invigorasi benih merupakan cara untuk meningkatkan kualitas dan kinerja benih dalam hal daya tumbuh, kecepatan perkecambahan, dan ketahanan terhadap stres lingkungan. Beberapa teknik yang umum digunakan untuk invigorasi benih meliputi bioinvigorasi, matricconditioning, penerapan zat pengatur tumbuhan (ZPT), agen hayati, priming, osmoconditioning, serta pemberian kelembaban. Setiap metode ini memiliki tujuan yang sama, yaitu untuk meningkatkan potensi benih dalam menghasilkan tanaman yang kuat dan sehat.

Bio-invigorasi merupakan metode teknologi yang menggunakan agen hayati ketika benih menyerap air, dengan tujuan untuk merangsang pertumbuhan benih (Megasari *et al.*, 2022). Salah satu cara penerapan bioinvigorasi yang dapat dilakukan ialah menggunakan biostimulan. Biostimulan yang mendukung pertumbuhan tanaman dan meningkatkan ketahanan terhadap stres dapat menjadi pilihan yang tersedia untuk tanaman pertanian dan hortikultura (Sangha *et al.*, 2014 dalam Szczepanek., 2018).

Biostimulan adalah zat atau mikroorganisme yang diberikan kepada tanaman untuk meningkatkan efisiensi nutrisi, meningkatkan toleransi terhadap stres abiotik, dan/atau meningkatkan kualitas tanaman, tanpa memperhatikan kadar nutrisi langsung. Jenis-jenis biostimulan meliputi asam humat dan fulvat, produk hidrolisis protein dan senyawa nitrogen lainnya, ekstrak tanaman, chitosan dan polimer lainnya, senyawa anorganik, jamur menguntungkan, serta bakteri menguntungkan (Du Jardin, 2015). Ekstrak rumput laut, meskipun belum banyak dimanfaatkan, memiliki potensi besar sebagai sumber zat pengatur tumbuh. Rumput laut mengandung berbagai mineral penting seperti Fe, B, Ca, Cu, Cl, K, Mg, dan Mn yang dapat berperan sebagai bahan penyubur organik. Selain itu, rumput laut juga

mengandung auksin, giberelin, dan sitokinin, yang dapat bermanfaat dalam meningkatkan hasil produksi tanaman (Jamal, 2009).

Hormon auksin meningkatkan pertumbuhan akar dengan tujuan mempercepat dan memaksimalkan pertumbuhan tanaman secara keseluruhan, sementara hormon giberelin merangsang pertumbuhan daun dan batang (Lubis *et al.*, 2018). Sedangkan Sitokinin memiliki kemampuan untuk merangsang pembelahan sel, mendorong benih untuk berkecambah, serta memengaruhi diferensiasi dan pertumbuhan akar (Asra *et al.*, 2020).

Penelitian sebelumnya dilakukan pada benih yang diberi perlakuan menggunakan biostimulan ekstrak rumput laut, dengan hasil yang menjanjikan tercapai pada beberapa jenis tanaman (Sivritepe dan Sivritepe, 2008 dalam Hernández dan Carmona 2019). Pada penelitian (Takoliya *et al.*, 2018), hasil tertinggi untuk persentase perkecambahan, panjang bibit, dan indeks vigor benih, terjadi pada konsentrasi 6% dari biostimulan yang berasal dari rumput laut, pada benih *Coriandrum sativum*, *Trigonella foenum-graecum*, dan *Spinacia oleracea* dibandingkan dengan benih yang tidak diberi perlakuan. Hasil penelitian (Murti *et al.*, 2024), konsentrasi fitohormon (biostimulan) PGPR 12 ml/L menghasilkan jumlah buah terbaik.

Perendaman selama tiga jam merupakan metode yang optimal untuk mempertahankan viabilitas benih kedelai dengan masa simpan lebih dari enam bulan pada penelitian ini (Sari dan Wijaya, 2022). Pada penelitian yang dilakukan (Ernita dan Mairizki, 2019), merendam benih kedelai selama enam jam dapat meningkatkan kecepatan tumbuh dan kekuatan/vigor benih.

Sehubungan dengan hal diatas maka dilakukan penelitian yang berjudul “Bio-Invigorasi Benih Kedelai (*Glycine Max* (L.) *Merr.*) Varietas Detap-1 Menggunakan Biostimulan” yang bertujuan untuk meningkatkan viabilitas dan vigor benih kedelai varietas Detap-1 yang telah mengalami deteriorasi. Sebagai informasi, penelitian ini adalah salah satu pecahan dari 2 penelitian lainnya yaitu bio-invigorasi menggunakan pupuk hayati cair dan bio-invigorasi menggunakan PGPR dengan menggunakan varietas, konsentrasi, dan lama perendaman benih yang sama.

1.4 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Diduga terdapat konsentrasi Biostimulan yang dapat meningkatkan viabilitas dan vigor benih kedelai varietas Detap-1.
2. Diduga terdapat lama perendaman Biostimulan yang dapat meningkatkan viabilitas dan vigor benih kedelai varietas Detap-1.
3. Diduga respon viabilitas dan vigor benih kedelai varietas Detap-1 terhadap pemberian Biostimulan pada konsentrasi tertentu dipengaruhi oleh lama perendaman.
4. Diduga terdapat kombinasi konsentrasi dan lama perendaman yang paling tepat untuk meningkatkan viabilitas dan vigor benih varietas Detap-1.

1.5 Kontribusi Penelitian

Sebagai salah satu sumber informasi dan arahan bagi masyarakat, terutama petani, dalam melaksanakan pengembangan kedelai dan sebagai acuan dalam pengembangan ilmu pertanian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kedelai (*Glycine Max* (L.))

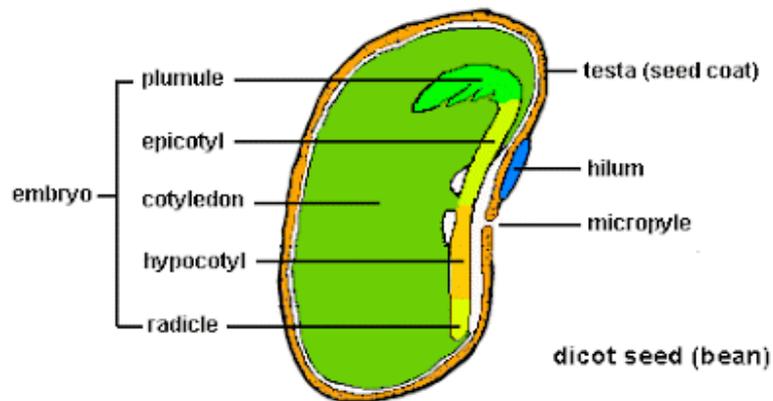
Tanaman kedelai, yang diberi nama ilmiah *Glycine max* (L.) Merrill, adalah tanaman semak yang tumbuh tegak yang telah dibudidayakan oleh manusia sejak tahun 2500 SM. Kedelai dapat memenuhi kebutuhan pangan manusia, ternak, dan industri. Salah satu jenis polong-polongan yang paling populer di dunia untuk sumber protein dan minyak nabati adalah kedelai. Tanaman ini adalah tanaman pangan utama setelah padi dan jagung secara strategis. Mengingat tingkat proteinnya yang tinggi, seimbang, dan lengkap dalam asam amino, ini dikenal sebagai "Gold from the Soil" atau "Keajaiban Dunia" karena kontribusinya yang signifikan dalam menyediakan makanan bergizi bagi manusia (Aldillah, 2015).

Sejarah pertumbuhan kedelai di Indonesia dimulai dengan penemuan pertama yang dicatat oleh Rumphius dalam *Herbarium Amboinense* pada tahun 1673; namun, penemuan ini tidak dipublikasikan hingga 1747. Menurut dokumen ini, kedelai ditanam di Amboina (sekarang Ambon). Pada sekitar tahun 1750, kedelai mulai ditanam di Indonesia, terutama di Jawa, tetapi hanya dalam jumlah kecil dan untuk keperluan pertanian subsisten. Pada tahun 1853, Junghun menemukan bahwa orang bisa menanam kedelai di Gunung Gamping di bagian selatan Jawa Tengah, dan pada tahun 1855, dia menemukan bahwa ada kedelai di dekat Bandung. Pada tahun 1895, Prins Geerling pertama kali mencatat makanan Jawa yang terbuat dari kedelai, seperti tauco, tahu, kecap, dan tempe. Baru pada tahun 1935 kedelai mulai ditanam di seluruh Jawa (Andyanie, 2016).

Klasifikasi tanaman kedelai adalah sebagai berikut (Rohmah,2016):

Divisio	: <i>Spermatophyta</i>
Subdivisio	: <i>Angiospermae</i>
Classis	: <i>Dicotyledoneae</i>
Ordo	: <i>Rosales</i>
Familia	: <i>Papilionaceae</i>
Genus	: <i>Glycine</i>
Species	: <i>Glycine max</i> (L.) Merr.

2.2 Anatomi Morfologi Benih Kedelai



Gambar 1. Morfologi benih kedelai

Sumber : Anonim. Modul Materi 1 Struktur dan Tipe Perkecambahan
(<http://labpemuliaantanaman.staff.ub.ac.id/>)

Struktur benih kedelai terdiri atas plumula, epikotil, kotiledon, hipokotil, testa, hilum, mikropil, akar. Benih kedelai memiliki tipe biji epikotil.. Kulit biji (testa) merupakan karakter morfologi penting biji kedelai karena menentukan proses fisiologis embrio, sekaligus menjadi penutup dan pelindung embrio (Hidajat, 1995). Embrio adalah suatu tanaman baru yang terjadi dari bersatunya gamet-gamet jantan dan betina pada suatu proses pembuahan. Struktur embrio terdiri atas epikotil (calon pucuk), hipokotil (calon batang), kotiledon (calon daun), radikula (calon akar).

2.3 Kedelai Varietas Detap 1

Benih kedelai varietas Detap 1 adalah benih kedelai yang berasal dari hasil persilangan kedelai varietas G511H dengan varietas Anjasmoro yang dilepas pada 22 Mei tahun 2017. Kedelai varietas ini memiliki tipe tumbuh determinate yaitu batang yang tidak tumbuh lagi pada saat tanaman mulai berbunga. Benih kedelai varietas ini merupakan benih kedelai yang tergolong besar dengan bobot 100 butir kurang lebih 15,37 gram. Warna kulit benih adalah kuning dengan bentuk biji bulat. Benih kedelai varietas ini tahan terhadap pecah polong (Kementan, 2023).

2.4 Morfologi Tanaman Kedelai

Morfologi tanaman kedelai adalah sebagai berikut (Krisnawati dan Adie, 2016) :

a. Akar

Pada tanaman kedelai, sistem perakaran terdiri dari akar tunggang yang berasal dari calon akar, akar sekunder yang terdiri dari empat barisan di sekitar akar

tunggang, cabang akar sekunder, dan cabang akar adventif yang tumbuh dari hipokotil bagian bawah. Sekitar sepuluh hari setelah tanam, biasanya terlihat bintil akar pertama. Faktor-faktor seperti kekerasan tanah, populasi tanaman, varietas, dan lain-lain memengaruhi panjang akar tunggang. Akar tunggang kedelai dapat mencapai kedalaman hingga 200 cm, tetapi dalam tanaman tunggal, dapat mencapai 250 cm.

b. Batang

Batang tanaman kedelai bermula dari poros embrio yang terletak di biji yang sudah matang. Bagian yang paling penting dari poros embrio ini adalah hipokotil, yang berbatasan dengan bagian ujung bawah permulaan akar yang membentuk bagian kecil dari poros akar hipokotil. Di bagian atas poros embrio berakhir pada epikotil yang terdiri dari dua daun sederhana, yaitu primordia daun pertama dan ujung batang. Sistem perakaran di atas hipokotil berasal dari epikotil dan tunas aksiler. Pola percabangan akar dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti varietas tanaman dan lingkungan, seperti panjang hari, jarak tanam, dan kesuburan tanah.

c. Daun

Daun pada tanaman kedelai dibagi menjadi empat tipe: (1) kotiledon atau daun biji, (2) dua helai daun primer sederhana, (3) daun trifoliolate, dan (4) profila. Daun primer memiliki bentuk oval dengan tangkai daun sepanjang 1-2 cm, yang berseberangan pada buku pertama di atas kotiledon. Setiap daun memiliki sepasang stipula yang melekat pada dasar daun dan menempel pada batang. Tipe daun lainnya terbentuk di batang utama, dengan cabang lateral memiliki daun trifoliolate yang tersusun secara bergantian dengan susunan yang berbeda.

Anak daun trifoliolate memiliki beragam bentuk, mulai dari bulat hingga lancip. Kadang-kadang terbentuk 4-7 daun, dan dalam beberapa kasus, daun lateral dapat bergabung dengan daun terminal. Daun tunggal memiliki panjang antara 4-20 cm dan lebar 3-10 cm. Tangkai daun lateral umumnya pendek, sekitar 1 cm atau kurang. Dasar daun terminal memiliki dua stipula kecil, sementara setiap daun lateral memiliki satu stipula. Tiap daun primer dan daun trifoliolate memiliki pulvinus yang cukup besar di titik perlekatan tangkai dengan batang. Pulvini ini terlibat dalam pergerakan daun dan posisi daun selama siang dan malam hari, yang disebabkan oleh perubahan tekanan osmotik di berbagai bagian pulvinus.

Bentuk daun kedelai dapat beragam, termasuk lancip, bulat, dan lonjong, serta ada perpaduan bentuk antara lonjong dan lancip. Sebagian besar varietas daun kedelai yang ada di Indonesia cenderung berbentuk lonjong, kecuali varietas Argopuro yang berdaun lancip.

d. Bunga

Kedelai merupakan tanaman yang melakukan penyerbukan sendiri dan memiliki sifat kleistogami. Periode pertumbuhan vegetatif bervariasi tergantung pada jenis varietas dan kondisi lingkungan, seperti panjang hari dan suhu. Tanaman kedelai memasuki fase reproduktif saat tunas aksiler berkembang menjadi kelompok bunga dengan jumlah bunga sekitar 2 hingga 35 dalam setiap kelompok. Ada dua tipe pertumbuhan batang dan awal pembungaan pada tanaman kedelai. Tipe pertama adalah indeterminat, di mana tunas terminal terus berkembang dalam fase vegetatif selama pertumbuhan. Tipe kedua adalah determinat, di mana pertumbuhan vegetatif tunas terminal berhenti ketika pembungaan terjadi. Bunga pertama yang muncul pada tanaman kedelai berhubungan dengan tahap perkembangan tanaman. Pada saat kotiledon, daun primer, dan daun trifoliat berada dalam fase vegetatif, bunga pertama biasanya muncul pada buku kelima atau keenam dan buku yang berada di atasnya. Bunga-bunga ini muncul menuju ujung batang utama dan ujung cabang. Periode berbunga pada kedelai dipengaruhi oleh waktu tanam dan umumnya berlangsung selama 3-5 minggu. Penelitian telah menunjukkan bahwa tidak semua bunga kedelai berhasil membentuk polong, dengan tingkat keguguran mencapai 20-80%. Varietas kedelai yang memiliki banyak bunga per buku cenderung memiliki tingkat keguguran bunga yang lebih tinggi daripada varietas yang memiliki sedikit bunga. Keguguran bunga pada kedelai dapat terjadi pada berbagai fase perkembangan, mulai dari fase tunas, selama perkembangan organ pembungaan, saat pembuahan, selama perkembangan awal embrio, atau pada berbagai tahapan perkembangan kotiledon.

e. Biji

Biji merupakan bagian morfologi kedelai yang memiliki nilai ekonomis tinggi. Bentuk biji kedelai dapat bervariasi dari lonjong hingga bulat, dan sebagian besar varietas kedelai di Indonesia memiliki biji berbentuk lonjong. Di Indonesia, biji kedelai dikelompokkan berdasarkan ukuran menjadi besar (berat >14 g/100

biji), sedang (10-14 g/100 biji), dan kecil (<10 g/100 biji). Di Jepang dan Amerika, biji kedelai dianggap berukuran besar jika beratnya mencapai 30g/100 biji. Biji kedelai utamanya terdiri dari kotiledon yang dilapisi oleh kulit biji (testa), dengan lapisan endosperma terletak di antara kulit biji dan kotiledon.

Kulit biji kedelai terdiri dari tiga lapisan, yaitu epidermis, hipodermis, dan parenkim. Lapisan epidermis memiliki sel-sel palisade yang dilapisi oleh kutikula yang mampu memantulkan cahaya dengan lebih kuat (dikenal sebagai "light line"), yang biasanya lebih jelas terlihat pada kedelai liar dibandingkan dinding sel lainnya. Lapisan hipodermis terdiri dari lapisan sel, sementara lapisan parenkim terdiri dari 6-8 lapisan tipis pada seluruh kulit biji, kecuali di bagian hilum yang memiliki tiga lapisan yang berbeda. Hilum, yang merupakan bagian tempat biji melekat pada polong, terdiri dari tiga lapisan parenkim yang memiliki ruang interseluler dan terhubung langsung dengan sel hourglass. Sifat impermeabel terhadap udara dari karakteristik sel palisade hipodermis berperan sebagai tempat pertukaran udara dari dalam embrio dengan lingkungan luar melalui hilum. Struktur hilum diduga memiliki peran dalam mengatur metabolisme dan kelembaban di dalam embrio kedelai.

2.5 Teknik Invigorasi Benih

Fisiologis, kualitas benih tercermin dalam viabilitas atau daya hidup benih, yang meliputi vigor benih dan daya kecambahannya. Uji viabilitas benih yang sering digunakan adalah uji daya kecambah. Vigor benih tercermin dalam pertumbuhan tunas yang kuat dan munculnya kecambah dengan cepat, yang menunjukkan keberadaan kekuatan pertumbuhan yang dapat diamati dari laju perkecambahan (Endrawati & Ardi, 2022).

Pada saat panen, benih kedelai memiliki kadar air yang tinggi, sehingga perlu segera dijemur atau dikeringkan untuk menurunkan kadar airnya. Proses pengeringan atau penurunan kadar air benih ini penting untuk menjaga viabilitas benih, namun kadar air yang terlalu rendah dapat mengurangi viabilitas benih tersebut. Benih kedelai termasuk dalam jenis benih ortodoks, yang artinya benih ini harus dikeringkan sebelum disimpan. Kadar air yang ideal untuk penyimpanan benih kedelai biasanya sekitar 11% (Aruan et al., 2018).

Proses penurunan kondisi benih setelah mencapai kematangan fisiologis disebut sebagai deteriorasi, yang merupakan proses penuaan benih. Proses ini tidak bisa dihentikan sepenuhnya, namun bisa diperlambat. Faktor-faktor yang memengaruhi benih meliputi faktor internal benih seperti kondisi fisik dan fisiologisnya, kelembaban relatif dan suhu lingkungan, kadar air dalam benih, suhu, genetik, mikroflora, kerusakan mekanik yang disebabkan oleh panen dan pengolahan, serta tingkat kemasakan benih (Jasmi, 2018).

Benih yang sudah mengalami deteriorasi bisa diperbaiki kinerjanya dengan memberikan perlakuan invigorasi. . Ada beberapa teknik invigorasi benih sebelum penanaman yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas fisiologis benih, terutama vigor benih. Salah satu tekniknya yaitu teknik hydropriming, teknik hydropriming adalah sebuah teknik yang digunakan untuk meningkatkan viabilitas dan vigor benih sebelum penanaman. Berbagai metode hydropriming dapat diterapkan, termasuk menggunakan larutan osmotik dan matricconditioning dengan memanfaatkan media yang lembab. Teknik ini bertujuan untuk meningkatkan viabilitas benih dengan merendamnya dalam air sebelum penanaman, sehingga merangsang metabolisme benih sebelum proses perkecambahan dimulai. Proses perkecambahan dianggap sebagai tahap krusial yang menentukan siklus pertumbuhan tanaman, termasuk kekuatan, kecepatan pertumbuhan, dan kualitas kecambah serta benih secara keseluruhan (Najar & Bakhtiari, 2014).

Pada beberapa kasus cekaman, metode hydro priming dapat digunakan untuk meningkatkan viabilitas dan vigor benih. Hasil penelitian yang dilaporkan oleh (Lutfiah *et al.*,2021), menunjukkan bahwa perlakuan hydro priming memberikan pengaruh signifikan terhadap parameter seperti jumlah kecambah pada hari pertama, waktu muncul kecambah 50%, kecepatan perkecambahan, berat kering kecambah normal, dan panjang hipokotil kecambah normal pada benih kedelai varietas Burangrang, Anjasmoro, dan Grobogan.

Hormonal priming adalah suatu teknik invigorasi yang menggunakan hormon priming atau bahan organik lainnya. Penelitian yang dilakukan oleh Sukowardojo (2011) mengungkap bahwa invigorasi dengan menggunakan priming GA3 100 ppm + NAA 50 ppm dengan masa simpan dua dan enam bulan memberikan dampak signifikan terhadap indeks vigor tanaman .Ini menunjukkan

bahwa pemberian ZPT (GA3, NAA, urin) pada awalnya dapat langsung memengaruhi daya tumbuh, kecepatan pertumbuhan, dan perkembangan kecambah, yang pada gilirannya akan mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan bibit atau tanaman selanjutnya secara tidak langsung. Dengan demikian, bibit atau tanaman dapat lebih cepat memanfaatkan faktor-faktor pertumbuhan seperti air, iklim, dan unsur hara yang ada dalam media, serta cadangan makanan yang tersedia dalam kotiledon.

Bio-invigorasi adalah teknologi yang melibatkan penggunaan agensi hayati selama proses imbibisi benih untuk merangsang pertumbuhan benih. Agensi hayati ini dapat berupa mikroorganisme yang terdapat dalam *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR), agen bio-kontrol, atau fungisida hayati (Marthandan *et al.*, 2020). Bio-invigorasi yang diintegrasikan dengan agensi hayati dari kelompok rhizobakteri yang banyak ditemukan berkoloni disekitar perakaran tanaman atau lebih mudah ditemukan dalam kandungan PGPR terbukti mampu meningkatkan mutu fisiologis benih (Widanta dan Sutariati, 2018).

Bio-invigorasi benih dapat dilakukan dengan menggunakan mikroorganisme hayati dari kelompok rhizobakteri seperti *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Aspergillus niger*, *Rhizobium sp.*, dan *Azotobacter sp.* Mikroorganisme-mikroorganisme ini terdapat dalam *Natural Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) yang berperan sebagai stimulan pertumbuhan tanaman (Marfuah dan Majid, 2018). Bioinvigorasi dapat meningkatkan kekuatan dan daya hidup benih, serta meningkatkan ketahanan, pertumbuhan, dan produktivitas tanaman padi (Mia *et al.*, 2010).

2.6 Viabilitas Benih

Viabilitas benih merujuk pada keberlangsungan hidup benih yang tercermin melalui aktivitas metabolisme dan keberadaan enzim sebagai katalisator metabolisme yang diperlukan untuk pertumbuhan dan perkecambahan benih. Kemampuan benih untuk menghasilkan benih normal juga menunjukkan tingkat viabilitasnya. Selain itu, daya kecambah juga menjadi indikator potensial viabilitas benih. Viabilitas potensial mencerminkan kemampuan benih untuk tumbuh dan bereproduksi secara normal dalam kondisi optimal (Palupi *et al.*, 2016).

Benih yang berkualitas tinggi biasanya ditandai oleh viabilitas dan vigoritas yang tinggi. Banyak pakar dalam bidang teknologi benih menginterpretasikan viabilitas sebagai kemampuan benih untuk berkecambah dan menghasilkan kecambah dengan normal. Viabilitas benih mencerminkan keberlangsungan hidup benih yang dapat diamati melalui aktivitas metabolisme dan gejala pertumbuhan. Selain itu, daya kecambah juga menjadi indikator dari potensi viabilitas benih. Jumlah benih yang berhasil berkecambah dari sekelompok benih merupakan petunjuk dari tingkat viabilitas benih (Risky *et al.*, 2017).

Benih yang memiliki viabilitas tinggi cenderung memiliki daya simpan yang lebih panjang. Sebaliknya, benih yang mengalami penurunan viabilitas akan mengalami penurunan daya simpan atau penurunan kualitas (Hasbianto, 2012). Terdapat beberapa faktor yang memengaruhi viabilitas benih selama masa penyimpanan, termasuk faktor internal seperti kadar air, sifat genetik, viabilitas awal, dan faktor eksternal seperti suhu dan kelembaban lingkungan penyimpanan, jenis kemasan, keberadaan mikroorganisme, serta pengaruh manusia (Paramita *et al.*, 2018).

Viabilitas benih dimulai sejak periode anthesis hingga benih menjadi tidak hidup. Menurut Sadjad (1994) dalam Sucahyono (2013), viabilitas benih dibagi menjadi tiga periode yang mencerminkan kondisi benih selama periode waktu tertentu. Periode pertama (Periode I) adalah saat pembentukan benih yang ditandai dengan mencapai viabilitas maksimum pada fase masak fisiologis. Periode kedua (Periode II) adalah saat pemrosesan dan penyimpanan benih. Periode ketiga (Periode III) adalah periode kritis di mana benih harus ditanam karena telah memasuki masa penurunan viabilitas.

Pada dasarnya, penurunan viabilitas biji disebabkan oleh faktor eksternal yang berasal dari lingkungan, seperti paparan sinar matahari, infeksi oleh hama dan penyakit yang dapat menyebabkan kerusakan fisik atau kontaminasi dengan racun mikotoksin. Selain itu, faktor internal juga dapat berperan yang disebabkan oleh sifat bawaan dari biji itu sendiri, seperti akumulasi limbah respirasi dan denaturasi molekul-molekul kecil yang mengganggu metabolisme dan hormon pertumbuhan, sehingga menghambat pertumbuhan biji (Yudono, 2019). Viabilitas biji dapat diuji secara langsung melalui uji perkecambahan, atau secara tidak langsung melalui

metode fisik atau biokimia. Perkecambahan merupakan serangkaian reaksi dan proses metabolisme pada biji yang berujung pada munculnya bagian-bagian kecambah, seperti akar dan plumula, yang merupakan tahap awal dari pertumbuhan tanaman (Yudono, 2019).

2.7 Vigor

Vigor merupakan kemampuan benih untuk tumbuh normal dan bereproduksi normal pada kondisi sub optimum. Vigor benih mencerminkan keadaan di mana benih memiliki sifat-sifat yang sehat, dan saat berkecambah, benih mampu menghasilkan kecambah yang kuat, seragam, serta mampu beradaptasi dengan baik terhadap berbagai kondisi lingkungan.

Vigor merujuk pada sekelompok sifat-sifat benih yang menandakan pertumbuhan dan perkembangan kecambah yang cepat dan seragam dalam berbagai kondisi lapangan yang beragam. Konsep vigor benih mencakup berbagai aspek fisiologis yang terjadi selama proses perkecambahan dan pertumbuhan awal kecambah.

Vigor benih merupakan sekumpulan sifat-sifat benih yang mencerminkan kinerja lot benih dalam berbagai kondisi lingkungan yang beragam (ISTA, 2016). Konsep vigor benih menggambarkan karakteristik mutu benih dan potensi keseragaman pertumbuhan tanaman di lapangan, menghadapi berbagai variasi lingkungan (Finch-Savage dan Bassel, 2016, dalam Astuti *et al.*, 2020).

Menurut Widajati *et al.* seperti yang dikutip dalam Sulizawati (2016), standar untuk mengukur vigor pertumbuhan adalah melalui kecepatan tumbuh (KCT) dan keseragaman pertumbuhan (KST) benih. Benih yang memiliki vigor tinggi cenderung tumbuh lebih cepat daripada benih yang memiliki vigor rendah. Kecepatan pertumbuhan benih mencerminkan vigor individu benih yang berkaitan dengan waktu yang diperlukan untuk pertumbuhan. Sementara itu, keseragaman pertumbuhan benih mencerminkan vigor dari seluruh lot benih. Lot benih yang kurang vigor cenderung memiliki variasi dalam pertumbuhan, sehingga kecambah yang tumbuh secara normal dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu normal kuat dan normal kurang kuat.

Vigor benih bukanlah hanya satu sifat tunggal, melainkan sejumlah sifat tunggal yang mencerminkan beberapa karakteristik terkait dengan performa suatu lot benih. Beberapa karakteristik tersebut antara lain:

- a. Kecepatan dan keseragaman daya kecambah serta pertumbuhan awal kecambah.
- b. Kemampuan benih untuk tumbuh meskipun berada dalam kondisi lingkungan yang tidak optimal untuk pertumbuhan.
- c. Kemampuan benih untuk berkecambah setelah mengalami periode penyimpanan (BPMBTPH, 2004, dalam Permatasari, 2013).

Vigor sering dipakai oleh para ahli benih untuk memisahkan benih yang memiliki potensi untuk tumbuh menjadi tanaman muda yang kuat, sehat, dan pertumbuhannya seragam, dari benih yang mengalami kemunduran. Proses penuaan dan masa penyimpanan yang panjang dapat menyebabkan penurunan viabilitas benih, yang pada akhirnya memperlambat proses perkecambahan dan meningkatkan sensitivitas terhadap lingkungan. Perubahan ini bisa dianggap sebagai tanda awal dari penurunan viabilitas dan vigor benih. Proses penuaan merupakan salah satu faktor yang menyebabkan penurunan vigor, bersama dengan faktor-faktor seperti genotipe, tingkat kematangan, kerusakan biji, dan faktor lainnya (Yudono, 2019). Sementara itu, deteriorasi merupakan istilah yang digunakan secara luas untuk menggambarkan penurunan vigor dan viabilitas biji. Biji yang sudah tua dapat mengalami berbagai perubahan, termasuk perubahan morfologi, struktur, dan kimia dalam biji.

2.8 Biostimulan

Menurut penelitian (Sangha *et al.*, 2014 yang dikutip dalam Szczepanek., 2018), salah satu metode bioinvigorasi yang efektif adalah melalui penggunaan biostimulan. Biostimulan tersebut membantu dalam mempromosikan pertumbuhan tanaman serta meningkatkan resistensi terhadap berbagai kondisi stres, yang dapat digunakan dalam konteks pertanian dan hortikultura. Biostimulan tersedia dalam berbagai formulasi dengan berbagai bahan, tetapi umumnya diklasifikasikan menjadi tiga kelompok utama berdasarkan sumber dan kandungannya. Kelompok-kelompok ini mencakup substansi humik (HS), produk yang mengandung hormon (HCP), dan produk yang mengandung asam amino (AACP). HCP seperti ekstrak rumput laut mengandung jumlah substansi aktif untuk pertumbuhan tanaman

seperti auksin, sitokinin, atau turunannya yang dapat diidentifikasi (Du Jardin, 2015).

Biostimulan memiliki peran penting dalam merangsang metabolisme tanaman tebu dengan meningkatkan pembentukan anakan, asimilasi, sintesis gula, serta meningkatkan berat batang tebu. Salah satu jenis biostimulan yang dapat digunakan adalah ekstrak bahan organik dari rumput laut, yang telah diujicobakan pada pertumbuhan tebu dalam kondisi rumah kaca (Wahyuni et al., 2018). Rumput laut mengandung karbohidrat, protein, abu, air, vitamin, serta mineral baik dalam bentuk makro maupun mikroelemen seperti kalium (K), natrium (Na), magnesium (Mg), fosfat (P), iodin (I), dan besi (Fe). Ekstrak rumput laut sebagai biostimulan terbukti mengandung senyawa-senyawa bioaktif seperti giberelin, sitokinin, auksin, dan asam absisat yang berperan sebagai hormon pengatur tumbuh (Stirk *et al.*, 2014).